

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 12.04.02. «Оптотехника»  
Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Активаторная люминесценция сцинтилляторов на основе кристаллов LiF</b>

УДК 58:535-26.17

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ6Б	Ли Шуай		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Корепанов В.И.	д.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Старикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	д.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
«Оптотехника»	Полисадова Е.Ф.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2018 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
Р1	Способность формулировать цели, задачи научного исследования или разработки в области светотехники и фотонных технологий и материалов, способность выделять и обосновывать критерии, на основании которых формируются модели принятия решений, составлять план работ, способность строить физические и математические модели объектов исследования и выбирать алгоритм решения задачи
Р2	Способность разрабатывать программы экспериментальных исследований, применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы, защищать приоритет и новизну полученных результатов исследований в области обработки, изучения и анализа фотонных материалов, корпускулярно-фотонных технологий, оптоволоконной техники и технологии, в области оптических и световых измерений, люминесцентной и абсорбционной спектроскопии, лазерной техники, лазерных технологий и оборудования, взаимодействия излучения с веществом, производства и применения светодиодов
Р3	Способность к профессиональной оценке проблем проектирования в области светотехники, оплотехники, фотонных технологий и материалов на основе подбора и изучения литературных и патентных источников. Способностью к разработке структурных и функциональных схем оптических, оптико-электронных, светотехнических приборов, лазерных систем и комплексов с определением их физических принципов работы, структуры и технических требований на отдельные блоки и элементы
Р4	Способность к конструированию и проектированию отдельных узлов и блоков для осветительной, облучательной, оптико-электронной, лазерных техники, оптоволоконных, оптических, оптико-электронных, лазерных систем и комплексов различного назначения, осветительных и облучательных установок для жилых помещений, сельского хозяйства, промышленности
Р5	Способность к разработке и внедрению технологических процессов и режимов сборки оптических и светотехнических изделий, к разработке методов контроля качества изготовления деталей и узлов, составлению программ испытаний современных светотехнических и оптических приборов и устройств, фотонных материалов.
Р6	Способность эксплуатировать и обслуживать современные светотехнические и оптические приборы и устройства, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<b><i>Универсальные компетенции</i></b>	
Р7	Способность проявлять творческий, нестандартный подход, требующий абстрактного мышления, при решении конкретных научных, технологических и

	проектно-конструкторских задач в области фотонных технологий и материалов и светотехники, нести ответственность за принятые решения
P8	Способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала
P9	Способность к инновационной инженерной деятельности, менеджменту в области организации освоения новых видов перспективной и конкурентоспособной оптической, оптико-электронной и световой, лазерной техники с учетом социально-экономических последствий технических решений
P10	Способностью к координации и организации работы научно- производственного коллектива, принятию исполнительских решений для комплексного решения исследовательских, проектных, производственно-технологических, инновационных задач в области светотехники и фотонных технологий и материалов
P11	Способность к оценке современного состояния развития науки и техники, владение иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P12	Способность к сбору сведений, анализу и систематизации знаний об исследуемом объекте

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки (специальность) 12.04.02 «Оптотехника» (Светотехника)  
Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ Полисадова Е.Ф.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ6Б	Ли Шуай

Тема работы:

Оценка стоимости световой энергии для разных систем освещения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования: Люминесценция сцинтилляторов на основе кристаллов фторида лития при импульсном электроном возбуждении.  Исходные данные: отечественная и зарубежная литература по теме работы, образцы кристаллов с примесями, методика измерений.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Обзор на тему «Дефекты структуры и люминесценция кристаллов LiF»</li><li>2. Экспериментальные методики</li><li>3. Результаты измерения спектров люминесценции при импульсном электронном возбуждении в кристаллах LiF с примесями WO<sub>3</sub></li><li>4. Анализ результатов исследований</li><li>5. Написание и представление ВКР</li></ol>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	Старикова Е.В., Доцент отделения социально-гуманитарных наук
<b>Социальная ответственность</b>	Назаренко О.Б., Профессор отделения контроля и диагностики
<b>Разделы, выполненные на иностранном языке</b>	Парнюгин А.С., Доцент отделения иностранных языков
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Корепанов Владимир Иванович	д.ф.м.н, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4BM6Б	Ли Шуай		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ6А	Игембаева Жаныл Серыкызы

Институт	ИШНПТ	Кафедра	Отделение материаловедения
Уровень образования	Магистр техники и технологии	Направление/специальность	12.04.02 Опотехника

**Исходные данные к разделу «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определить затраты: - На материалы и покупные изделия - На эксплуатацию датчиков постоянной освещенности
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Не используется
3. Использование систем налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные страховые фонды, которые составляют 30 %.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Оценка научно-технического уровня проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	Не разрабатывается
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение экономической эффективности
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка научно-технического уровня проекта

**Перечень графического материала:**

1. Карта сегментирования рынка
2. Иерархическая структура работ
3. SWOT -анализа проекта
4. Диаграмма Ганта
5. Смета затрат на научно-исследовательскую работу

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Старикова Екатерина Васильевна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ6Б	Ли Шуай		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ6Б	Ли Шуаю

Школа	ИШНПТ	Отдел школы	Отделение материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Оптотехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Объектом исследования выступают центры свечения и люминесценция кристаллов LiF. Рабочей зоной является высоковольтный зал корпуса №10 ТПУ ИШНПТ. Сцинтилляционная эффективность определяется величиной запрещенной зоны базовой матрицы и потерями энергии. Ширина зоны LiF ( $E_g \approx 14.2$ эВ) наибольшая среди ЦГК, что обуславливает низкую сцинтилляционную эффективность чистых кристаллов.
---	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество)</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения:</p> <p>1. Воздействие вредных веществ (органических примесей) Согласно СанПиН 1.2.2353-08 предельно допустимая концентрация юминесценция кристаллов LiF ВРЗ ПДК 5,0 мг/м<sup>3</sup>, веретенное масла АВ ПДК 0,05 мг/м<sup>3</sup>. Согласно ГОСТ 12.1.007. Люминесценция кристаллов LiF относится к 3-му классу опасности.</p> <p>2. Воздействие электромагнитного поля. Предельно допустимые нормы уровня электрического и магнитного поля регламентируется согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 в зависимости от длительности пребывания персонала для условий.</p> <p>3. Повышенный уровень шума. Согласно нормативным документам уровень шума и звукового давления не должен превышать 50дБА, уровень шума на рабочем 55дБА. В лаборатории применяются индивидуальные средства защиты (наушники), а также опыты проводятся в специальной камере.</p> <p>4. Микроклимат помещения. Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 требуемая температура воздуха в помещении – 19-21 градуса, температура поверхностей 18-22</p>
---	---

	<p>градуса, скорость движения воздуха не превышает 0,2 м/сек. в холодный период года, и температура воздуха в помещении 20-22 градуса, температура поверхностей 19-23 градуса, скорость движения воздуха не превышает 0,2 м/сек в теплый период года. Температура воздуха в рабочей зоне поддерживается радиаторами в холодный период и вентиляцией в теплый период.</p> <p>5. Недостаточная освещенность Освещенность лаборатории №11 составляет - 300 лк. Согласно нормативным документам освещенность лаборатории должна соответствовать- 400 лк, достигается при помощи искусственного освещения.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). Согласно СанПиН 1.2.2353-08 люминесценция кристаллы LiF при содержании в пыли от 2 до 10 % (горючие сланцы) не должен превышать ВРЗ 4 ПДК -/4,0 , мг/м<sup>3</sup>, минеральные масла (нефтяного и сланцевого) ВРЗ ПДК 5,0 мг/м<sup>3</sup>, веретенное масла АВ ПДК 0,05 мг/м<sup>3</sup>. При проведении опытов контакта с этими веществами не случается.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Перечень всевозможных ЧС при разработке и эксплуатации. Помещение лаборатории имеет категорию Г [Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"]. Помещение лаборатории имеет «Знак зоны-1» и «Зона класса В-Ia» класса зоны по ПУЭ [Классификация и маркировка взрывозащищенного электрооборудования по ГОСТ 12 2020-76]. ЧС на объекте могут произойти в следствии: короткого замыкания цепи, которое может привести к пожару и взрыву. Превентивные средства по предотвращения ЧС : применение изоляции, изоляция электрических частей установки от земли, недоступность токоведущей части.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Согласно ГОСТ 23000-78 конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должна соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Расстояния между рабочими зонами, параметры освещения и микроклимата соответствуют нормам.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику



**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор отделения контроля и диагностики	Назаренко Т.В.	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4ВМ6А	Ли Шуай		

## Оглавление

Введение .....	12
Глава 1. Процесс накопления центров окраски в основе LiF-WO <sub>3</sub> .....	13
1.1 Сцинтилляторы.....	13
1.1.1 Энергетическое разрешение .....	13
1.1.2 Время высвечивания.....	14
1.2 Радиационная стойкость .....	15
1.3 Неорганические сцинтилляторы.....	16
1.4. Органические сцинтилляторы .....	16
Глава 2. Центры окраски .....	18
2.1. Чистый LiF .....	18
2.1.1 Экситоны в LiF .....	18
2.1.2 Центры окраски.....	19
2.2 Накопление центров окраски .....	21
2.3. LiF соксидами металлов .....	24
2.3.1 Фотолюминесценция .....	25
2.3.2. Импульсная катодолюминесценция .....	27
2.3.4. Наносекундная ИКЛ.....	28
2.3.5. Процессы, сопровождающие люминесценция .....	29
2.4 Активаторная люминесценция.....	30
2.4.1 Активаторная люминесценция LiF-WO <sub>3</sub> , LiF-TiO <sub>2</sub> , LiF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	31
2.5. Температурные зависимости.....	35
Глава 3. Методика измерения спектров.....	42
3.1 Методика измерения спектров ИКЛ и ИФЛ .....	42
3.1.1. Сущность метода измерений .....	42
3.1.2. Описание спектрометра.....	43
3.2. Криостат .....	44
4.2.1. Градуировка измерительного тракта спектрометра .....	45
3.3. Выполнение измерений .....	46
3.3.1. Выполнение измерений.....	46
3.3.2. Обработка и вычисление результатов измерений.....	47
3.4. Разложения спектров на гауссовы составляющие .....	49
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	56
4.1 Планирование этапов и выполнение работ по НИР .....	56

4.1.1 Планирование этапов работ .....	56
4.1.2 Определение трудоемкости выполнения работы.....	57
4.1.3 Техническая готовность темы .....	58
4.1.4 Разработка календарного плана работ .....	59
4.2 Бюджет научно-технического исследования .....	63
4.2.1. Расчет материальных затрат НТИ .....	63
4.2.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	64
4.2.3 Основная заработная плата .....	64
4.2.4 Дополнительная заработная плата .....	68
4.2.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	69
4.2.6 Накладные расходы .....	70
4.2.7 Смета затрат на разработку.....	70
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования. ....	71
Глава 5. Социальная ответственность .....	74
5.1 Техногенная безопасность.....	75
5.1.1 Предельно допустимые уровни постоянного электромагнитного поля .....	77
5.2 Повышенный уровень шума и вибрации .....	79
5.2.1 Неблагоприятные условия микроклимата рабочей зоны.....	81
5.3 Недостаточная освещенность .....	82
5.4 Экологическая безопасность. ....	88
5.5 Организационные мероприятия обеспечения безопасности .....	88
5.6 Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	90
5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	91
Заключение .....	92
Список используемой литературы .....	93
Приложение А .....	97

## Введение

Актуальность: LiF это сцинтиллятор у него хорошие характеристики люменесценции. При энергетических пучках в LiF существуют центры окраски, процессы накопления центров окраски на основе LiF уже известны. Но добавление примесных элементов влияет как активаторы для накопления центров окраски в LiF с примесями.

В LiF-WO<sub>3</sub> тоже существует влияние от примесных элементов. Эти активаторные процессы не только существуют на сложных центрах. Поэтому изучение этих процессов накопления центров окраски существует своей необходимости. В этой диссертационной работе исследовались процессы накопления F<sup>-</sup>, F<sub>2</sub><sup>-</sup>, F<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sub>2</sub><sup>-</sup>, F<sub>2</sub><sup>+</sup>, F<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sub>3</sub><sup>+</sup> центров окраски при разных температурах (от 20K-300K)

## **Глава 1. Процесс накопления центров окраски в основе LiF-WO<sub>3</sub>.**

### **1.1 Сцинтилляторы**

Сцинтилляторы — вещества, обладающие способностью излучать свет при поглощении ионизирующего излучения (гамма-квантов, электронов, альфа-частиц и т. д.). Как правило, излучаемое количество фотонов для данного типа излучения приближённо пропорционально поглощённой энергии, что позволяет получать энергетические спектры излучения. Сцинтилляционные детекторы ядерных излучений — основное применение сцинтилляторов. В сцинтилляционном детекторе свет, излученный при сцинтилляции, собирается на фотоприёмнике (как правило, это фотокатод фотоэлектронного умножителя — ФЭУ, значительно реже используются фотодиоды и другие фотоприёмники), преобразуется в импульс тока, усиливается и записывается той или иной регистрирующей системой.

Характеристики сцинтилляторов световыход: Световыход — количество фотонов, излучаемых сцинтиллятором при поглощении определённого количества энергии (обычно 1 МэВ). Большим световыходом считается величина 50—70 тыс. фотонов на МэВ. Однако для детектирования высокоэнергичных частиц могут использоваться и сцинтилляторы со значительно меньшим световыходом (например, вольфрамат свинца).

Спектр высвечивания должен быть оптимально согласован со светочувствительностью используемого фотоприёмника, чтобы не терять лишний свет. Несогласованный с чувствительностью приёмника спектр высвечивания негативно сказывается на энергетическом разрешении.

#### **1.1.1 Энергетическое разрешение**

Даже при поглощении частиц с одинаковой энергией амплитуда импульса на выходе фотоприёмника сцинтилляционного детектора меняется от события к событию. Это связано 1) со статистическим характером процессов сбора фотонов

на фотоприёмнике и последующего усиления, 2) с различной вероятностью доставки фотона к фотоприёмнику из разных точек сцинтиллятора, 3) с разбросом высвечиваемого числа фотонов. В результате в набранном спектре линия (которая для идеального детектора представляла бы дельта-функцию) оказывается размытой, её часто можно представить в виде гауссианы с дисперсией  $\sigma^2$ . В качестве характеристики энергетического разрешения детектора используются сигма (квадратный корень из дисперсии) и, чаще, полная ширина линии на половине высоты (FWHM, от англ. Full Width on Half Maximum; иногда называется полушириной), отнесённые к медиане линии и выраженные в процентах. FWHM гауссианы в  $2\sqrt{2\ln 2} \approx 2,355$  раза больше  $\sigma$ . Поскольку энергетическое разрешение зависит от энергии (как правило, оно пропорционально  $E^{-1/2}$ ), его следует указывать для конкретной энергии. Чаще всего разрешение указывают для энергии гамма-линии цезия-137 (661.7 кэВ).

### 1.1.2 Время высвечивания

Основная статья: Время высвечивания

Время, в течение которого поглощённая в сцинтилляторе, возбуждённого прохождением быстрой заряженной частицы энергия преобразуется в световое излучение, называют временем высвечивания. Зависимость высвечивания сцинтилляторов от времени с момента поглощения частицы (кривая высвечивания) обычно может быть представлена как убывающая экспонента или, в общем случае, как сумма нескольких убывающих экспонент:

$$I \sim \sum_i A_i \exp(-t/\tau_i) \quad (1)$$

Слагаемое в формуле с наибольшей амплитудой  $A_i$  и постоянной времени  $\tau_i$  характеризует общее время высвечивания сцинтиллятора. Почти все сцинтилляторы после быстрого высвечивания имеют медленно спадающий «хвост» послесвечения, что зачастую является недостатком, с точки зрения временного разрешения, скорости счёта регистрируемых частиц.

Обычно сумму многих экспонент в приведённой формуле с достаточной для практики точностью можно представить в виде суммы двух экспонент:

$$I = A \exp\left(-\frac{t}{\tau_f}\right) + B \exp\left(-\frac{t}{\tau_s}\right) \quad (2)$$

где  $\tau_f$  — постоянная времени «быстрого» высвечивания,  $\tau_s$  — постоянная времени «медленного» высвечивания,  $A$  и  $B$  — амплитуды свечения и послесвечения соответственно.

Амплитуды свечения и послесвечения зависят от энергии, поглощённой в сцинтилляторе, ионизирующей способности быстрых частиц и гамма-квантов. Например, в сцинтилляторах изготовленных из легированного фторида бария амплитуда свечения, вызванного поглощением гамма-кванта существенно превышает амплитуду свечения, вызванного поглощением альфа-частицы, при поглощении которой наоборот, превалирует амплитуда послесвечения. Это явление позволяет различать природу ионизирующего излучения.

Типичное время высвечивания неорганических сцинтилляторов — от сотен наносекунд до десятков микросекунд. Органические сцинтилляторы (пластиковые и жидкие) высвечиваются в течение наносекунд.

## 1.2 Радиационная стойкость

Облучаемые сцинтилляторы постепенно деградируют. Доза облучения, которую может выдержать сцинтиллятор без существенного ухудшения свойств, называется радиационной прочностью.

Квенчинг-фактор это частицы разной природы, но с одинаковой энергией при поглощении в сцинтилляторе дают, вообще говоря, различный световыход. Частицы с высокой плотностью ионизации (протоны, альфа-частицы, тяжёлые ионы, осколки деления) дают в большинстве сцинтилляторов меньшее количество фотонов, чем гамма-кванты, бета-частицы, мюоны или рентген. Отношение световыхода данного типа частиц к световыходу гамма-квантов с равной энергией называется квенчинг-фактором (от англ. quenching —

«тушение»). Квенчинг-фактор электронов (бета-частиц) обычно близок к единице. Квенчинг-фактор для альфа-частиц называют  $\alpha/\beta$ -отношением; для многих органических сцинтилляторов он близок к 0,1.

### 1.3 Неорганические сцинтилляторы

Чаще всего в качестве сцинтилляторов используются неорганические монокристаллы. Иногда для увеличения световыхода в кристалл вводят так называемый активатор (или допант). Так, в сцинтилляторе NaI(Tl) в кристаллической матрице иодида натрия содержатся активирующие центры таллия (примесь на уровне сотых долей процента). Сцинтилляторы, которые светятся без активатора, называются *собственными*.

Сцинтилляторы				
	Время высвечивания, мкс	Максимум спектра высвечивания, нм	Коэффициент эффективности (по отношению к антрацену)	Примечание
NaI(Tl)	0,25	410	2,0	гигроскопичен
CsI(Tl)	0,5	560	0,6	фосфоресценция
LiI(Sn)	1,2	450	0,2	очень гигроскопичен
LiI(Eu)				очень гигроскопичен
ZnS(Ag)	1,0	450	2,0	порошок
CdS(Ag)	1,0	760	2,0	небольшие монокристаллы

Рисунок 1 – Неорганические керамические сцинтилляторы

Прозрачные керамические сцинтилляторы получают из прозрачных керамических материалов на базе оксидов  $Al_2O_3$  (Лукалокс),  $Y_2O_3$  (Иттралокс) и производных оксидов  $Y_3Al_5O_{12}$  и  $YAlO_3$ , а также MgO, BeO.

### 1.4 Органические сцинтилляторы

Органические сцинтилляторы обычно представляют собой двух- – трёхкомпонентные смеси. Первичные центры флуоресценции возбуждаются за



счёт потери энергии налетающими частицами. При распаде этих возбуждённых состояний излучается свет в ультрафиолетовом диапазоне длин волн. Длина поглощения этого ультрафиолета, однако, весьма мала: центры флуоресценции непрозрачны для их собственного излученного света.

Вывод света осуществляется добавлением к сцинтиллятору второго компонента, поглощающего первично излученный свет и переизлучающего его изотропно с большими длинами волн (так называемого сместителя спектра, или шифтера).

Две активных компоненты в органических сцинтилляторах или растворяются в органической жидкости или смешиваются с органическим материалом так, чтобы образовать полимерную структуру. При такой технологии можно производить жидкий или пластиковый сцинтиллятор любой геометрической формы. В большинстве случаев изготавливаются листы сцинтиллятора толщиной от 1 до 30 мм.

Органические сцинтилляторы имеют гораздо меньшие времена высвечивания (порядка единиц — десятков наносекунд) по сравнению с неорганическими, но имеют меньший световыход:

	$\lambda_{\text{max}}$ эмиссии [нм]	Время высвечивания [нс]	Световыход (относительно NaI)
нафталин	348	96	0,12
антрацен	440	30	0,5
p-терфенил	440	5	0,25

Рисунок 2 – Органические сцинтилляторы

Также существуют другие органические сцинтилляторы, например американской компании BICRON. Сцинтилляторы Bicron BC 400...416 производятся на основе поливинилтолуола.

## **Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **Введение**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется ни сколько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. В данном разделе мы попытаемся проанализировать разработанную программу математического моделирования нагрева высокоомных материалов во время воздействия сильноточного электронного пучка с позиции конкурентно способности, технологичности, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

### **4.1 Планирование этапов и выполнение работ по НИР**

#### **4.1.1 Планирование этапов работ**

Научные исследования выполнила группа, в состав которой входили научный руководитель и студент.

Выполнение и планирования работы по теме «Центры свечения и люминесценция кристаллов LiF» было разделено на следующие этапы, как показано на таблице 5.

Таблица 5 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Исполнители
Выдача задания	1	Составление и утверждение задания	науч. рук.
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	науч. рук., студ.
	3	Выбор направления исследований	науч. рук.
	4	Календарное планирование работ по теме	науч. рук.

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение методика измерения спектров люминесценции при импульсном электронном возбуждении	студ.
	6	Люминесценция неактивированных кристаллов LiF (экситонная)	студ.
Обобщение и оценка результатов	7	Обобщение результатов расчета , проведен экономический анализ работ, определены мероприятия по технике безопасности	студ.
	8	Измерение спектров люминесценции при импульсном электронном возбуждении в кристаллах LiF с примесями: кислорода, OH, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , WO <sub>3</sub> .	науч. рук., студ.
	9	Научное обоснование результатов и выводы	науч. рук., студ.
Оформление отчета по НИР	10	Разработка плана по оформлению работы	науч. рук., студ.
	11	Оформление отчета по работе	студ.
Защита отчета	12	Защита ВКР	студ.

#### 4.1.2 Определение трудоемкости выполнения работы

Важнейшей составляющей процесса формирования научной работы является определение трудоемкости мероприятий по выполнению работ.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож}$ , используется следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  $t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;  $t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$t_{pi} = \frac{t_{ож}}{Ч_1},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_1$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

#### 4.1.3 Техническая готовность темы

Определение технической готовности темы позволяет дипломнику точно знать, на каком уровне выполнения находится определенный этап или работа. Показатель технической готовности темы характеризует отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ, при этом следует учесть, что период дипломного проектирования составляет примерно 6 месяцев, включая производственную практику, и дипломник выступает в качестве основного исполнителя.

Для начала следует определить удельное значение каждой работы в общей продолжительности работ:

$$Y_i = \frac{T_{pi}}{T_p} \times 100\%,$$

где  $Y_i$  – удельное значение каждой работы в %;

$T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$T_p$  – суммарная продолжительность темы, раб.дн.

Тогда техническую готовность темы  $\Gamma_1$ , можно рассчитать по формуле:

$$\Gamma_i = \frac{\sum T_{pi}}{T_p} \times 100\%,$$

где  $\sum T_{pi}$  – нарастающая продолжительность на момент выполнения  $i$ -той работы.

#### 4.1.4 Разработка календарного плана работ

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22,$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Временные показатели проведения данного научного исследования представлены в таблице 6 (научный руководитель (р), студент(с)):

Таблица 6 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Исполнители		Т <sub>pi</sub> , дни		Т <sub>ki</sub> , дни	
	t <sub>min i</sub> , чел-дни		t <sub>max i</sub> , чел-дни		t <sub>ожі</sub> , чел-дни							
	р	с	р	с	р	с	р	с	р	с	р	с
Составление и утверждение задания	7	-	15	-	10	-	+	-	10	-	12	-
Подбор и изучение материалов по теме	20	20	70	70	61	61	+	+	61	61	75	75
Выбор направления исследований	6	-	15	-	10	-	+	-	10	-	12	-
Календарное планирование работ по теме	-	7	-	15	-	10	-	+	-	10	-	12
Проведение теоретических расчетов и обоснований	20	-	50	-	40	-	+	-	-	40	-	48
Разработка программного продукта	-	25	-	55	-	43	-	+	-	43	-	54
Обобщение результатов расчета , проведен экономический анализ работ, определены мероприятия по технике безопасности	-	6	-	10	-	8	-	+	-	8	-	10
Научное обоснование результатов и выводы	4	4	14	14	10	10	+	+	5	5	6	6
Разработка плана по оформлению работы	1	1	5	5	3	3	+	+	1,5	1,5	2	2
Оформление отчета по работе	-	15	-	30	-	15	-	+	-	15	-	18
Итого	58	89	169	222	134	166			87,5	119,5	107	245

Таблица 7 – Календарный план-график в виде диаграммы Ганта

№	Вид работ	И с п -л и	Т <sub>к</sub> , кал , дн.	Продолжительность выполнения работ																																								
				сен.				окт.				Ноя.				дек.				янв.				фев.				март				апр.				май				июнь				
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2							
1	Составление и утверждение задания	Р	12																																									
2	Подбор и изучение материалов по теме	С	75																																									
		Р	75																																									
3	Выбор направления исследований	Р	20 0																																									
4	Календарное планирование работ по теме	С	12																																									
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	С	48																																									
6	Разработка программного продукта	С	55																																									

[illegible]



## 4.2 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

### 4.2.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \text{Ц}_i \cdot N_{\text{расч}i},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расч}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$\text{Ц}_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);  $k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 8

Таблица 8 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп.3	Исп 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп.1	Исп. 2	Исп .3
Бумага	шт.	5	5	5	160	160	160	800	800	800
Итого								800	800	800

#### 4.2.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$З_{об} = (Ц \cdot F_{ф}) / (F_{н} \cdot F_{сс}),$$

где Ц – цена оборудования, р.;  $F_{н}$  – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч;  $F_{сс}$  – срок службы оборудования, год;  $F_{ф}$  – фактическое время занятости оборудования в НИР, ч.  $F_{н} = 365 - 104 - 11 = 250$  дней = 2000 ч.

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 4.6.

Данные взяты на основе отчета лаборатории.

#### 4.2.3 Основная заработная плата

Исходными нормативами заработной платы данных категорий работающих является оклад, определяющий уровень месячной заработной платы в зависимости от объема и ответственности работ.



Таблица 9 - Расчет основной заработной платы

№ п / п	Наименование этапов			Исполните ли по категориям			Трудоемко сть, чел.- дн.			Заработная плата, приходящая ся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Ис п.1	Ис п.2	Ис п.3	Ис п.1	Ис п.2	Ис п.3	Ис п.1	Ис п.2	Исп .3	Ис п.1	Исп .2	Ис п.3
1	разработка упрощённой физ. модели	разработка оптимизир ованной физ. модели	разработка упрощенной физ. модели	Р	Р	Р	10	20	10	1,8	1,8	1,8	18	36	18
2	разработка алгоритма без отладки	разработка алгоритма с отладкой	разработка алгоритма с отладкой	С	С	С	15	30	30	0,6	0,6	0,6	9	18	18
3	разработка кода	разработка оптимизир- ованного кода	разработка кода	С	С	С	30	60	30	0,6	0,6	0,6	18	36	18
4	разработка текстового интерфейса	разработка графичес- кого интерфейс а	разработка графического интерфейса интерфейса	С	С	С	15	30	30	0,6	0,6	0,6	9	18	18
Итого:													54	108	72

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где  $З$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 10);

$З_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где  $З_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 10).

Таблица 10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени, дни	Руководитель	Студент
Календарное число дней в году	365	365
Количество нерабочих дней Выходные Праздники (фактически по каждому году)	104 13	104 13
Планируемые потери отпуска	48	48

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где  $З_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $З_{\text{тс}}$ );  $k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;  $k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 11 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$k_{\text{т}}$	$З_{\text{тс}}$ , руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$ , руб	$З_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$З_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	Профессор	1	50000	0,3	0,2	1,3	97500	5070	87,5	443625
Студент		1	10000	0,3	0,2	1,3	19500	1014	119,5	121173
Итого $З_{\text{осн}}$										564798

#### 4.2.4 Дополнительная заработная плата

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Подставив в формулу известные численные значения, получим:

#### 4.2.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 30%

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.)

Таблица 12 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная пла- та, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	443625	887250	443625	53235	106470	53235
Студент	121173	242346	118760	14540	29080	21810
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30					
Итого						
Исполнение 1	822344					

<b>Исполнение 2</b>	1644688
<b>Исполнение 3</b>	827359

#### 4.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы – расходы на организацию, управление и обслуживание процесса производства товара, оказания услуги; носят комплексный характер, т.е. включают различные экономические элементы затрат.

Накладные расходы составляют 50% от суммы основной, дополнительной заработной платы и от страховых взносов, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}},$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

#### 4.2.7 Смета затрат на разработку

Все вышеперечисленные затраты включаются в смету, которая приведена в таблице 13.

Таблица 13 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечан
---------------------	-------------	----------



	Исп.1	Исп.2	Исп.3	ие
1. Материальные затраты НТИ	800	800	800	Пункт 4.3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных работ	-	-	-	Пункт 4.3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	111540	223080	141960	Пункт 4.3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	13384	26768	16638	Пункт 4.3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	33854	60708	50781	Пункт 4.3.4.5
7. Контрагентские расходы	-	-	-	нет затрат
8. Накладные расходы	26704	52108	34800	Пункт 4.3.4.6
9. Бюджет затрат НТИ	186282	363464	244979	Сумма ст. 1-8

#### **4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.**

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с

определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $b_i^a, b_i^p$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;  
 $n$  – число параметров сравнения.

Таблица 14 - Сравнительная эффективность разработки

<b>№ п/п</b>	<b>Показатели</b>	<b>Исп.1</b>	<b>Исп.2</b>	<b>Исп.3</b>
1	Интегральный финансовый	0,5	1	0,67
	показатель разработки			
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	1	0,6	0,6
3	Интегральный показатель эффективности	7,6	3,95	5,29
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,92	1	1,34

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволило определить сравнительную эффективность проекта, по таблице 14 наиболее целесообразный вариант исполнения 1.